



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAMILA WEBER LANGHINOTTI

CONSTRUÇÃO, DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM  
PENETRÔMETRO ELETRÔNICO DE ACIONAMENTO HIDRÁULICO

CURITIBA

2018

CAMILA WEBER LANGHINOTTI

CONSTRUÇÃO, DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM  
PENETRÔMETRO ELETRÔNICO DE ACIONAMENTO HIDRÁULICO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Samir Paulo Jasper

CURITIBA

2018

P234c Parize, Camila Weber Langhinotti  
Construção, desenvolvimento e validação de um penetrômetro eletrônico de acionamento hidráulico / Camila Weber Langhinotti Parize. - Curitiba, 2018.  
43 p.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.  
Orientador: Samir Paulo Jasper

1. Equipamento agrícola. 2. Solos - Manejo. 3. Solos - Compactação. I. Jasper, Samir Paulo. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDU 631.431.7



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS DO SOLO

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CAMILA WEBER LANGHINOTTI** intitulada: **Construção, desenvolvimento e validação de um penetrômetro eletrônico de acionamento hidráulico**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 26 de Outubro de 2018.

SAMIR PAULO JASPER

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

CRISTIANO RESCHKE LAJÚS

Avaliador Externo (UNOCHAPECÓ)

KARINA MARIA VIEIRA CAVALIERE POLIZELI

Avaliador Interno (UFPR)



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado saúde e força.

A minha família e em especial ao meu marido por toda dedicação e paciência, contribuindo diretamente para que eu pudesse ter um caminho mais prazeroso durante esses dois anos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Samir Paulo Jasper que sempre esteve disposto a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado.

A todos os colegas do Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas (LATA) que contribuíram para a execução deste trabalho (Maíra Laskoski, Adailto Garcia, Marcos Cristiano Machioski, Yasser Alibi Oiole, André Zella, Fabrício Camargo). Em especial aos colegas Leonardo Leonidas Kmiecik e Tiago Xavier da Silva que não mediram esforços para construir este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná por ter me dado a chance e todas as ferramentas que permitiram chegar ao final desse trabalho de maneira satisfatória.

À CAPES pelo auxílio e apoio financeiro concedido, que foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte desta etapa.

## RESUMO

A resistência do solo à penetração tem sido largamente utilizada como indicadora da compactação do solo, por estar relacionada a importantes atributos do solo e das plantas e por ser uma medida fácil e rápida de determinação. A determinação da resistência do solo à penetração com uso do penetrômetro orienta para as melhores estratégias para o manejo do solo, favorecendo assim o desenvolvimento das culturas. A resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas do solo diretamente relacionada com o crescimento das plantas e modificada pelos sistemas de preparo do solo. O objetivo deste trabalho foi desenvolver, construir e validar um penetrômetro eletrônico com acionamento hidráulico, visando padronizar a velocidade de penetração e facilitar a obtenção desses valores em áreas que exigem muitas leituras, possibilitando ainda o georreferenciamento dessas áreas no momento da obtenção dos valores. A execução deste trabalho ocorreu no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, aliada à estrutura física e do Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas. As leituras de resistência do solo à penetração e coletas de solos para as análises granulométricas, de umidade e densidade do solo foram realizadas em duas áreas distintas na Fazenda Experimental Cangüiri, pertencente à Universidade Federal do Paraná. Foram realizadas 36 leituras com cada penetrômetro nas duas áreas totalizando 144 leituras. Os resultados de resistência à penetração, dos equipamentos, foram analisados estabelecendo-se o intervalo de confiança pelo teste t a 10% de probabilidade, a cada 5 centímetros de profundidade. Concluindo que os dois penetrômetros foram eficientes na diferenciação dos níveis de compactação do solo das duas áreas, porém o penetrômetro desenvolvido operou de maneira satisfatória, apresentando maior sensibilidade ao detectar a resistência oferecida pela haste cônica ao penetrar o solo, assim validando este equipamento.

Palavras-chave: Penetrômetro. Resistência do solo à penetração. Compactação.

## **ABSTRACT**

Soil resistance to penetration has been widely used as an indicator of soil compaction because it is related to important attributes of soil and plants and is an easy measure and rapid determination. The determination of soil resistance to penetration using penetrometer guides to the best strategies for soil management, thus favoring the development of crops. Soil resistance to penetration is one of the soil physical properties directly related to the plants growth and modified by the soil tillage systems. The objective of this work was to develop, validate an electronic penetrometer with hydraulic drive, aiming at standardizing the penetration speed and facilitating the obtainment of these values in areas that require many readings, also allowing the georeferencing of these areas at the moment of obtaining the values. The work as performed in the department of soil and agricultural engineering, allied to the physical structure and human resources of the laboratory of Tractors Agricultural Adequacy. Soil penetration readings and soil sampling for particle size, soil moisture and analyzes were performed in two distinct areas at the Cangüiri experimental farm, belonging to the Federal University of Paraná. 36 readings were performed with each penetrometer in the two areas totaling 144 readings. The results of penetration resistance equipment were analyzed by establishing the confidence interval by the t-test at 10% probability, at each 5cm of depth. Concluding that the two penetrometers were efficient in the differentiation of soil compaction levels of the two areas, however, the developed penetrometer operated in a satisfactory manner, presenting greater sensitivity when detecting the real resistance offered by the conical rod when penetrating the soil, thus validating this equipment.

Key words: Penetrometer. Soil resistance to penetration. Compression.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ÁREA 1 .....	16
FIGURA 2 - ÁREA 2 .....	17
FIGURA 3 - PENETRÔMETRO ELETRÔNICO COM ACIONAMENTO HIDRÁULICO DESENVOLVIDO .....	19
FIGURA 4 - CÉLULA DE CARGA .....	20
FIGURA 5 - PRENSA HIDRÁULICA .....	20
FIGURA 6 - HASTE CÔNICA .....	22
FIGURA 7 - SENSOR DE DISTÂNCIA .....	23
FIGURA 8 - DESENHO DETALHADO DO PENETRÔMETRO ELETRÔNICO COM ACIONAMENTO HIDRÁULICO .....	24
FIGURA 9 - PENETRÔMETRO ELETRÔNICO COM ACIONAMENTO MANUAL .....	25
FIGURA 10 - GPS PORTÁTIL .....	26
FIGURA 11 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA PELO MÉTODO DO DENSÍMETRO DE BOUYOUCOS .....	27
FIGURA 12 - ANEL VOLUMÉTRICO .....	28
FIGURA 13 - MAPA ÁREA 1 .....	36
FIGURA 14 - MAPA ÁREA 2 .....	37

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 - TEORES DE ARGILA, SILTE E AREIA DAS ÁREAS 1 E 2 .....	16
TABELA 2 - VALORES DE DENSIDADE APARENTE E TEORES DE ÁGUA NO SOLO DAS ÁREAS 1 E 2 .....	34



## **LISTA DE GRÁFICOS**

GRÁFICO 1 - FUNÇÃO DE AFERIÇÃO DA CÉLULA DE CARGA .....	21
GRÁFICO 2 - FUNÇÃO DE AFERIÇÃO DO SENSOR DE DISTÂNCIA .....	23
GRÁFICO 3 - VALORES DE RSP DO PEM E DO PEH NA ÁREA 1 .....	31
GRÁFICO 4 - VALORES DE RSP DO PEM E DO PEH NA ÁREA 2 .....	32

## **LISTA DE SIGLAS**

RSP - Resistência do Solo a Penetração  
DSEA - Departamento de Solos e Engenharia Agrícola  
LATA - Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas  
FEC - Fazenda Experimental Cangüiri  
UFPR - Universidade Federal do Paraná  
SHTP - Sistema Hidráulico de Três Pontos do Trator  
VCR - Válvula de Controle Remoto  
SAD - Sistema de Aquisição de dados  
PCI - Placa de Circuito Impresso  
PEH - Penetrômetro Eletrônico com Acionamento Hidráulico  
PEM - Penetrômetro Eletrônico com Acionamento Manual  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná.  
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
DGPS - Sistema de Posicionamento Global Diferencial  
GPS - Sistema de Posicionamento Global

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
2.1. ÁREA EXPERIMENTAL .....	15
2.1.1 Área 1.....	15
2.1.2 Área 2.....	16
2.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS .....	17
2.2.1 Penetrômetro eletrônico de acionamento hidráulico (PEH).....	17
2.2.2 Penetrômetro eletrônico de acionamento manual (PEM).....	24
2.3 ANÁLISES DE SOLO .....	26
2.3.1 Textura do solo.....	26
2.3.2 Densidade do solo .....	28
2.3.3 Umidade volumétrica do solo .....	29
2.3.4 Precisão dos GPS .....	29
2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	29
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
3.1 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO (RSP).....	31
3.2 DENSIDADE E UMIDADE VOLUMÉTRICA DO SOLO .....	33
3.3 TEOR DE ARGILA .....	35
3.4 GEORREFERENCIAMENTO DAS ÁREAS .....	36
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>38</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A compactação dos solos agrícolas é um tema de crescente importância para agricultura moderna e tem se tornado um fator limitante para a produtividade agrícola, especialmente a causada pelo pisoteio animal e tráfego de máquinas agrícolas, pois a mesma afeta as propriedades físicas do solo e consequentemente o crescimento das plantas.

A compactação altera as propriedades físicas do solo como a redução da infiltração de água, resultante da quebra da continuidade de poros, causando assim redução no teor de água do solo que, serviria ao desenvolvimento das plantas; redução da capacidade de aeração ocasionado pela redução dos macroporos do solo; diminuição da permeabilidade do ar e água e o aumento da densidade, provocando impedimento mecânico ao crescimento do sistema radicular. Estas propriedades funcionam como indicadores de possíveis restrições ao crescimento radicular das culturas (MAZURANA et al., 2013).

A Resistência do solo a penetração (RSP) é considerada a propriedade física mais adequada para medir a compactação e, consequentemente, a facilidade que o solo oferece à penetração das raízes. E está diretamente correlacionada com atributos e condição do solo, como textura, densidade, matéria orgânica e a umidade no momento da determinação (LIMA, LEÓN E SILVA 2013a; OLIVEIRA FILHO et al., 2015).

Para a obtenção deste parâmetro, a penetrometria vêm sendo empregada através de método indireto adotado, o Índice de Cone, que mede a RSP que o solo exerce em relação à penetração de uma ponta cônica. É uma maneira rápida e fácil de medir a RSP a várias profundidades, e o aparelho também é muito utilizado para relacionar fatores de resistência do solo à elongação radicular (MIOTO et al., 2016)

Existem diversos tipos e modelos de penetrômetros no mercado, o como os penetrômetros de impacto, os mecânicos com manômetro e os eletrônicos que coletam e armazenam dados e podem ser operados manualmente ou hidráulicamente. Porém esses diferentes tipos podem apresentar diferença nos dados obtidos em uma mesma área, influenciados principalmente pela

velocidade de penetração e a forma e área de projeção da ponteira que penetra no solo (MOLIN, DIAS e CARBONERA, 2012).

Diante da variabilidade nos valores de RSP em uma mesma área, com diferentes tipos de penetrômetros existentes no mercado, o objetivo por meio deste trabalho foi desenvolver, construir e validar um penetrômetro eletrônico com acionamento hidráulico. Visando padronizar a velocidade de penetração e facilitar a obtenção desses valores em áreas que exigem muitas leituras, possibilitando ainda o georreferenciamento dessas áreas no momento da obtenção dos valores.



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. ÁREA EXPERIMENTAL

A execução deste trabalho ocorreu no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA), aliada à estrutura física do Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas (LATA). As leituras dos valores de resistência do solo a penetração (RSP) e coletas de solos foram realizadas em duas áreas distintas na Fazenda Experimental Cangüiri (FEC), pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR).

A região destas áreas é caracterizada por relevo suave ondulado, com clima temperado Cfb, de acordo com a classificação de Köppen, ou seja, com estações de verão e inverno bem definidas, sem estação seca, com temperatura média máxima de 22°C no verão e 8°C no inverno, com precipitação média anual de 1.480 mm, umidade relativa média de 87% e pressão atmosférica de 102 kPa (IAPAR, 2018).

As duas áreas de trabalho possuíam um total 900m<sup>2</sup> (30m x 30m), onde foram demarcados 36 pontos com 5 metros de distância entre cada ponto.

#### 2.1.1 Área 1

A área 1 (FIGURA 1) está localizada entre as coordenadas geográficas: - 25°38'80" de latitude sul e - 49°12'49" de longitude oeste. Caracterizada por ser uma área sem cobertura vegetal e sem histórico de cultivos anteriores, com um intenso tráfego de máquinas agrícolas e de textura muito argilosa segundo a análise granulométrica realizada nesta área (TABELA 1).

O solo desta área foi classificado de acordo com Embrapa (2013), em um CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico.

As leituras de RSP e coletas de solo nesta área foram realizadas no dia 05/03/2018. Sendo que neste dia a temperatura mínima foi de 20°C e máxima de 31°C, e a temperatura média do dia foi de 25°C, com umidade relativa do ar de 70%, com precipitação de 1mm. (INMET, 2018).

FIGURA 1 - ÁREA 1



FONTE: O autor (2018)

TABELA 1 - TEORES DE ARGILA, SILTE E AREIA DAS ÁREAS 1 E 2

	Prof. (cm)	Argila	Silte	Areia
		g.kg <sup>-1</sup>		
Área 1	0-10	663	87	250
	10-20	688	100	212
	20-30	688	74	238
	30-40	688	100	212
	40-50	672	93	235
	50-60	691	89	220
Área 2	0-10	525	115	360
	10-20	535	80	385
	20-30	525	85	390
	30-40	570	65	365
	40-50	555	75	370
	50-60	560	60	380

FONTE: O autor (2018)

### 2.1.2 Área 2

A área 2 (FIGURA 2) está localizada entre as coordenadas geográficas: - 25°38'89" de latitude sul e - 49°12'67" de longitude oeste. Caracterizada por ser uma área de cultivo anual de milho para silagem, preparada no sistema de plantio convencional de solo, com textura argilosa, segundo a análise granulométrica realizada nesta área (TABELA 1).

O solo desta área foi classificado de acordo com Embrapa (2013), em um CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico.

As leituras de RSP e coletas de solo nesta área aconteceram no dia 23/04/2018. Neste dia a temperatura mínima foi de 13°C e máxima de 26°C e a temperatura média do dia foi de 23°C, com umidade relativa do ar de 61%, sem ocorrência de chuvas (INMET, 2018).

FIGURA 2 - ÁREA 2



FONTE: O autor (2018)

## 2.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

### 2.2.1 Penetrômetro eletrônico de acionamento hidráulico (PEH)

O penetrômetro eletrônico de acionamento hidráulico foi desenvolvido no Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas (LATA), pertencente ao

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná (UFPR), campus Curitiba.

O equipamento foi construído para ser acoplado ao sistema hidráulico de três pontos do trator (SHTP) e a vazão hidráulica necessária para acionar a haste do penetrômetro ocorreu através da válvula de controle remoto (VCR) do próprio trator. Assim, o equipamento apresentou a comodidade e a mobilidade de estar atrelado ao trator, juntamente à redução e à garantia de que houvesse manutenção da velocidade de penetração da haste cônica junto ao solo.

O chassi do penetrômetro foi constituído de tubos quadrados de aço carbono de formato quadrangular de tamanho 40 x 40 mm e espessura de 1,5 mm. O dimensionamento desta estrutura ficou atrelado as dimensões do SHTP do trator utilizado.

Para a formação da estrutura do chassi foi utilizado eletrodo revestido da marca ESAB, especificação 6013 de revestimento rutilico e diâmetro 2,5 mm. O acabamento na união foi obtido com o uso de disco do tipo flap de 4 ½ polegada, em esmerilhadeira angular de 720W de potência e rotação de 11000 rpm. Na parte inferior da estrutura foi soldada uma chapa de aço de espessura de 3 milímetros com o intuito de facilitar a operação de nivelamento do equipamento com o solo. Depois de soldada a estrutura foi pintada com primer universal de cor cinza, e posteriormente com esmalte sintético de cor laranja boreal.

Utilizou-se um pistão hidráulico de dupla ação, com diâmetro interno de 50,8 mm, diâmetro da haste de 15 mm e curso de 1000 mm, e tendo capacidade de projeto estrutural de suportar até 10 kN de força. A vazão hidráulica para o pistão foi fornecida através das válvulas de controle remoto (VCR) do trator New Holland T6050® (de potência nominal de 93 kW), com bomba de engrenagens, com vazão máxima de 70 litros por minuto. Entre VCR do trator e o pistão hidráulico do equipamento foi instalada uma válvula de centro de 4 vias e três posições, acionada por alavanca manual com retorno ao centro por mola, para possibilitar a operação do equipamento ao lado externo da cabine.

Para realizar o controle da velocidade de penetração da haste ao solo, utilizou-se uma válvula de controle de fluxo hidráulico do tipo agulha da marca Stauff®, com capacidade de 18 litros por minuto colocada após a válvula de

centro aberto do equipamento. Para evitar a sobrecarga de pressão hidráulica no sistema, e possíveis danos no conjunto desenvolvido foi utilizada válvula reguladora de pressão da marca Parker® regulada para aliviar a pressão no sistema sempre que este ultrapassasse 8 MPa (FIGURA 3).

FIGURA 3 - PENETRÔMETRO ELETRÔNICO COM ACIONAMENTO HIDRÁULICO DESENVOLVIDO



FONTE: O autor (2018)

Na extremidade da haste do atuador do cilindro hidráulico, foi acoplada uma célula de carga do tipo ZSL, da marca IWM, com capacidade de 5,0 kN e sensibilidade de  $2,0 \pm 0,002$  mV/V e precisão de 99% em seu range de leitura (FIGURA 4).



FIGURA 4 - CÉLULA DE CARGA



FONTE: O autor (2018)

Esta célula de carga foi aferida com a prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC200CS, com capacidade de 2000 kN, aferida pelo INMETRO e pertencente ao Laboratório de Ensaios Mecânicos da Universidade Católica de Santa Catarina, campus Joinville (FIGURA 5).

FIGURA 5 - PRENSA HIDRÁULICA



FONTE: O autor (2017)

No Gráfico 1, é observada a função de aferição da célula de carga utilizada. Os sinais elétricos gerados por esta célula de carga eram armazenados pelo Sistema de Aquisição de Dados, e posteriormente transformados através da seguinte equação:

$$F = C \times NP$$

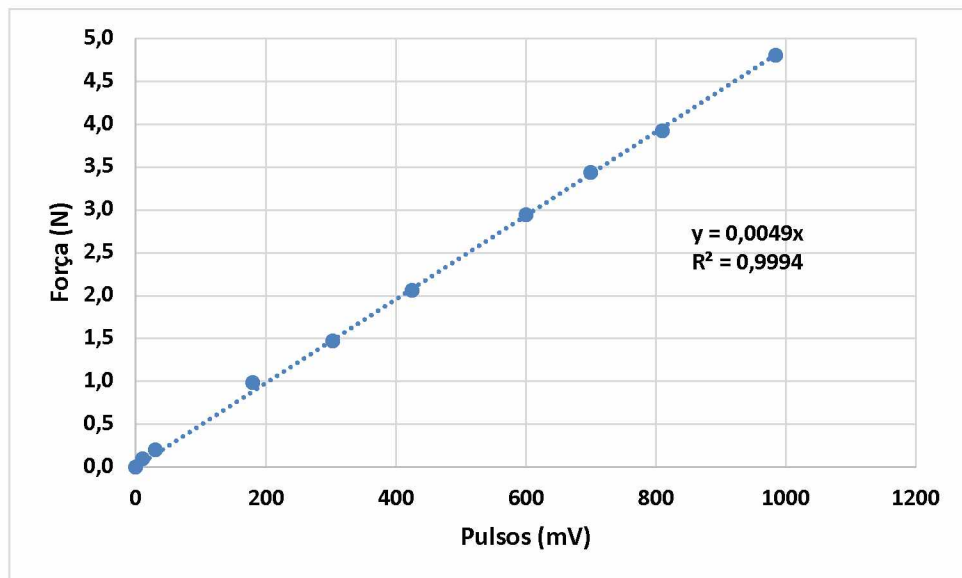
Em que:

F - Força Exercida para a haste penetrar o solo, N

C - Constante de Conversão

NP - Número de Pulsos emitido pela Célula de Carga (mV).

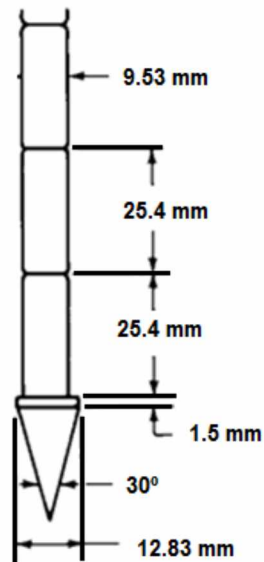
GRÁFICO 1 - FUNÇÃO DE AFERIÇÃO DA CÉLULA DE CARGA



FONTE: O autor (2017)

Na outra extremidade da célula de carga foi colocada uma haste de aço inox de diâmetro 9,53 mm com ponta cônica, tendo como base 12,83 mm e angulação de 30° (FIGURA 6). A velocidade de inserção da haste no solo foi aferida em 0,03ms<sup>-1</sup> conforme estabelecido pela norma S313.3 (ASABE, 2012).

FIGURA 6 - HASTE CÔNICA



FONTE: ASABE (2012)

Para mensurar a profundidade de penetração, utilizou-se um transdutor constituído por um potenciômetro de filamento de aço revestido com náilon ("string potentiometer"), da marca CALT, Modelo CWP-1000 (FIGURA 7), a onde cada pulso, em mW, representa o deslocamento de um milímetro (GRÁFICO 2).

$$PP = C \times NP$$

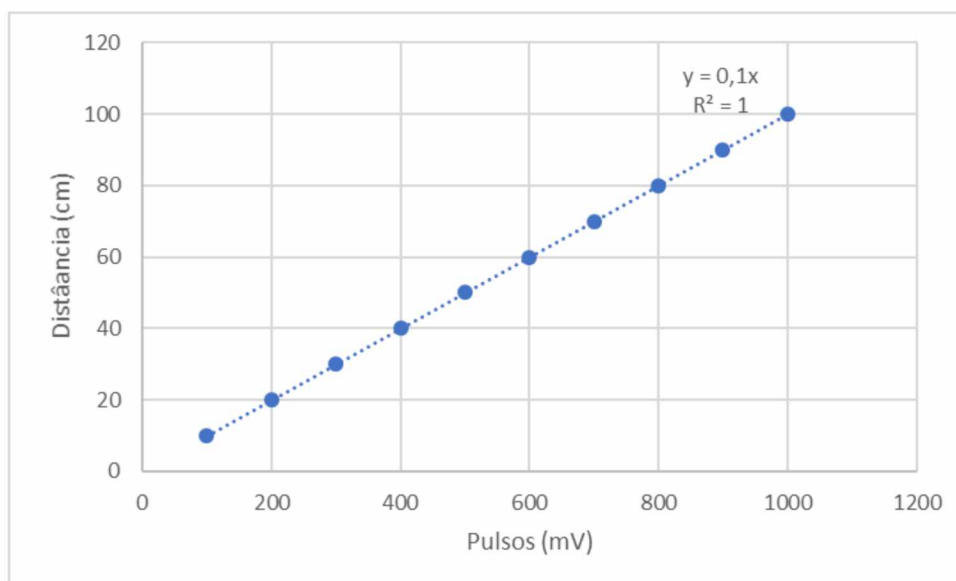
Em que:

PP – Profundidade de Penetração da haste no solo (cm)

C - Constante de Conversão

NP - Número de Pulsos emitido pela Célula de Carga (mV)

GRÁFICO 2 - FUNÇÃO DE AFERIÇÃO DO SENSOR DE DISTÂNCIA



FONTE: O autor (2017)

FIGURA 7 - SENSOR DE DISTÂNCIA



FONTE: O Autor (2018)

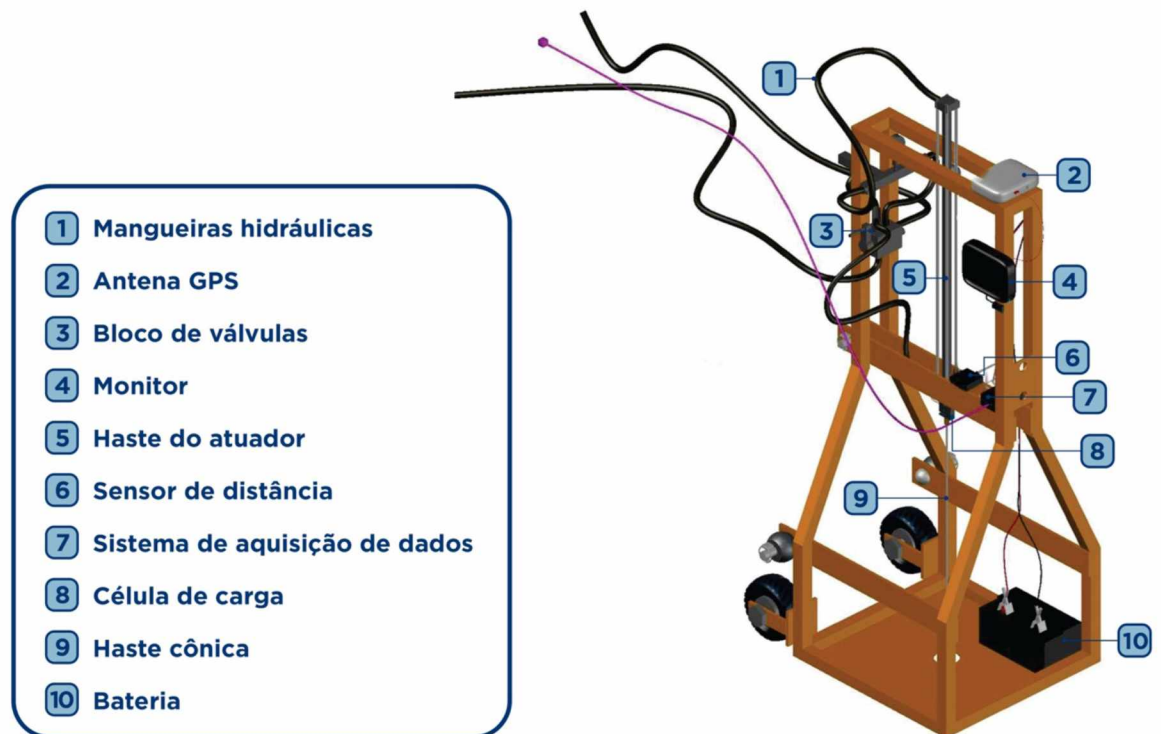
Para realizar a aquisição dos dados gerados pelo sensor de potenciômetro de filamento e célula de carga, foi desenvolvido sistema de aquisição de dados (SAD) de placa de circuito impresso (PCI) projetado em software Proteus 8.1 (*Labcenter Eletronics*), confeccionado em fresadora LPKF Protomat 93s a um microcomputador modelo aTmega 2560, marca Atmel, com 16MHz de *clock*, conversor analógico digital de 10 bits e alimentação de 12

Volts. A frequência de aquisição foi de um hertz e os dados armazenados diretamente em disco rígido (HD externo), para posterior tabulação e análise.

Para o georreferenciamento dos pontos de leituras realizados pelo equipamento desenvolvido foi instalado um receptor de sinal de GPS com correção diferencial (DGPS) da marca Trimble, modelo AG-372 e um monitor da marca New Holland.

Com este penetrômetro foram realizadas 36 leituras na área 1 e 36 leituras na área 2, totalizando 72 leituras de RSP, em uma profundidade máxima de 60cm, e as leituras foram registradas a cada 1cm.

FIGURA 8 - DESENHO DETALHADO DO PENETRÔMETRO ELETRÔNICO COM ACIONAMENTO HIDRÁULICO



FONTE: O Autor (2018)

### 2.2.2 Penetrômetro eletrônico de acionamento manual (PEM)

Foi utilizado o modelo PLG 1020 penetroLOG® da marca Falker, que é um penetrômetro de acionamento manual com registro eletrônico dos dados, possui um sensor tipo sonar que indica a profundidade de inserção da haste, que compõe o cálculo da velocidade, sendo as informações armazenadas na memória interna do equipamento e em seguida os dados foram transferidos



para um computador via interface serial. Há também um visor que possibilita ao operador visualizar os dados coletados e configurar o penetrômetro (FIGURA 9).

FIGURA 9 - PENETRÔMETRO ELETRÔNICO COM ACIONAMENTO MANUAL



FONTE: O autor (2018)

Este equipamento foi configurado para fazer medições até a profundidade máxima de 60cm com leituras a cada 1cm. O cone utilizado foi o tipo 2 que apresenta diâmetro de 12,83mm e angulação de 30° e velocidade de inserção da haste de  $0,03\text{ms}^{-1}$ , conforme estabelecido norma S313.3 (ASABE, 2012).

Como a operação deste equipamento é manual e está sujeito a variação conforme força, fadiga e técnica do operador para a penetração da haste somente uma pessoa operou o penetrômetro, desse modo, tentou-se minimizar as variações decorrentes da operação manual no uso desse equipamento.

Foram realizadas com este equipamento 36 leituras na área 1 e 36 leituras na área 2, totalizando 72 leituras de RSP.

O GPS portátil usado para fazer o georreferenciamento das áreas de trabalho em conjunto com o penetrômetro eletrônico de acionamento manual foi o modelo GPSMAP 64S da marca Garmin (FIGURA 10). Este GPS possui receptor GPS /GLONASS de alta sensibilidade com antena quadhelix para aumentar a recepção do sinal (GARMIN, 2018).

Através desse aparelho portátil as duas áreas de estudo foram georreferenciadas e posteriormente foram gerados mapas no programa Excel.

FIGURA 10 - GPS PORTÁTIL



FONTE: GARMIN (2018)

## 2.3 ANÁLISES DE SOLO

### 2.3.1 Textura do solo

Foram coletadas amostras de solo para determinar a textura nas áreas 1 e 2. Ambas as áreas foram determinados aleatoriamente 5 pontos para a abertura de trincheiras e posterior ocorreu a coleta de 3 amostra em cada uma das 6 profundidades, sendo de 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm, 30-40cm, 40-50cm, 50-60cm), totalizando 90 amostras para cada uma das áreas do estudo.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos impermeáveis e vedados no local da coleta, posteriormente em laboratório foram abertas para secagem ao ar.

A determinação da textura do solo ocorreu através da análise granulométrica seguindo o método do densímetro de Bouyoucos, baseada na Lei de Stokes (Gee e Bauder, 1986). A qual foi realizada no laboratório de física do solo pertencente à UFPR (FIGURA 11).

FIGURA 11 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA PELO MÉTODO DO DENSÍMETRO DE BOUYOUCOS



FONTE: O autor (2018)

Este método consiste em pesar 40g de terra fina seca ao ar e dispersá-la, por meio químico e mecânico. Por meio químico a dispersão é feita através de solução de hexametáfosfato de sódio puro ( $\text{Na}_2\text{PO}_2$ ) e de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ). E a dispersão mecânica é feita através de agitador por 16 horas. Após essa solução é transferida para provetas de 1L e disposta em uma bancada. Quando a amostra está na proveta ocorre agitação manual de 40 segundos, terminada a agitação se mergulha rapidamente o densímetro de Bouyoucos na

proveta, efetuando a primeira leitura que será do teor de silte + argila. Após 2 horas de espera para decantação, a segunda leitura foi realizada para a determinação do teor de argila da amostra.

### 2.3.2 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada através do método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997) (FIGURA12).

FIGURA 12 - ANEL VOLUMÉTRICO



FONTE: O autor (2018)

As amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos eram de volume conhecido ( $65,96\text{cm}^3$ ). Foram coletadas amostras indeformadas nas áreas 1 e 2, em 3 pontos aleatórios de ambas as áreas. Foi coletado 3 amostras por profundidade (0-10cm, 10-20cm, 20-30cm, 30-40cm, 40-50cm, 50-60cm) totalizando 54 amostras em cada área.

As amostras foram acondicionadas no local, em plástico filme PVC, posteriormente levadas ao LATA, pesadas e colocadas em estufa à temperatura de  $105^\circ\text{C}$  até atingirem massa constante.

Para os cálculos foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Densidade de solo} = \frac{\text{massa seca dos sólidos (g)}}{\text{Volume (cm}^3\text{)}}$$

### 2.3.3 Umidade volumétrica do solo

A determinação umidade volumétrica ocorreu pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Para os cálculos foram utilizadas as fórmulas abaixo:

$$\text{Umidade gravimétrica} = \frac{\text{massa de solo úmido (g)} - \text{massa de solo seco (g)}}{\text{Massa de sólidos secos (g)}}$$

$$\text{Umidade Volumétrica} = \text{Umidade gravimétrica} \frac{\text{Densidade solo (g.cm}^{-3}\text{)}}{\text{Densidade água (g.cm}^{-3}\text{)}}$$

As 108 amostradas coletadas nas duas áreas para determinar a densidade do solo foram as mesmas usadas para determinar a umidade volumétrica do solo.

### 2.3.4 Precisão dos GPS

A precisão dos pontos demarcados dos GPS portátil e do DGPS foram mensurados conforme metodologia de Stabile e Balastreire (2006).

## 2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados de resistência à penetração, dos equipamentos avaliados, foram analisados estabelecendo-se o intervalo de confiança pelo teste t a 10% de probabilidade, a cada 5 centímetros de profundidade.

Para cálculo do intervalo de confiança, foi utilizada a seguinte equação:

$$IC = \frac{(t \times \text{desvpad})}{\text{raiz nr}}$$

em que: IC = intervalo de confiança;

t = valor de t tabelado, a 10% de probabilidade;

desvipad = desvio-padrão;

raiz nr = raiz quadrada do número de repetições.

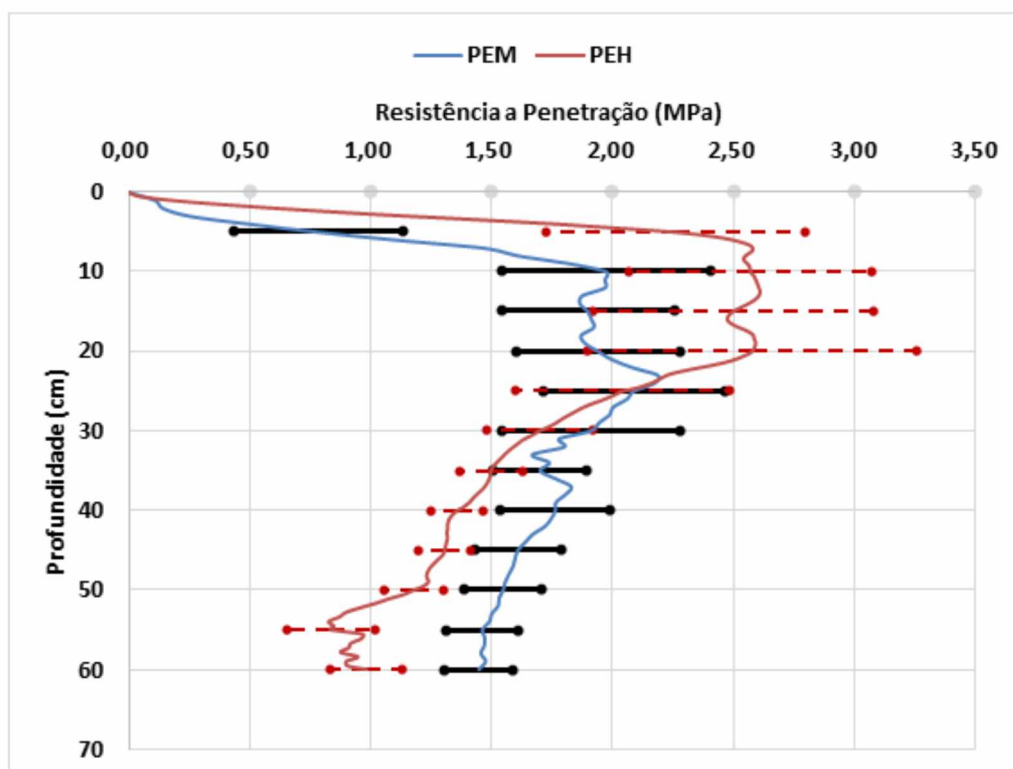


### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO (RSP)

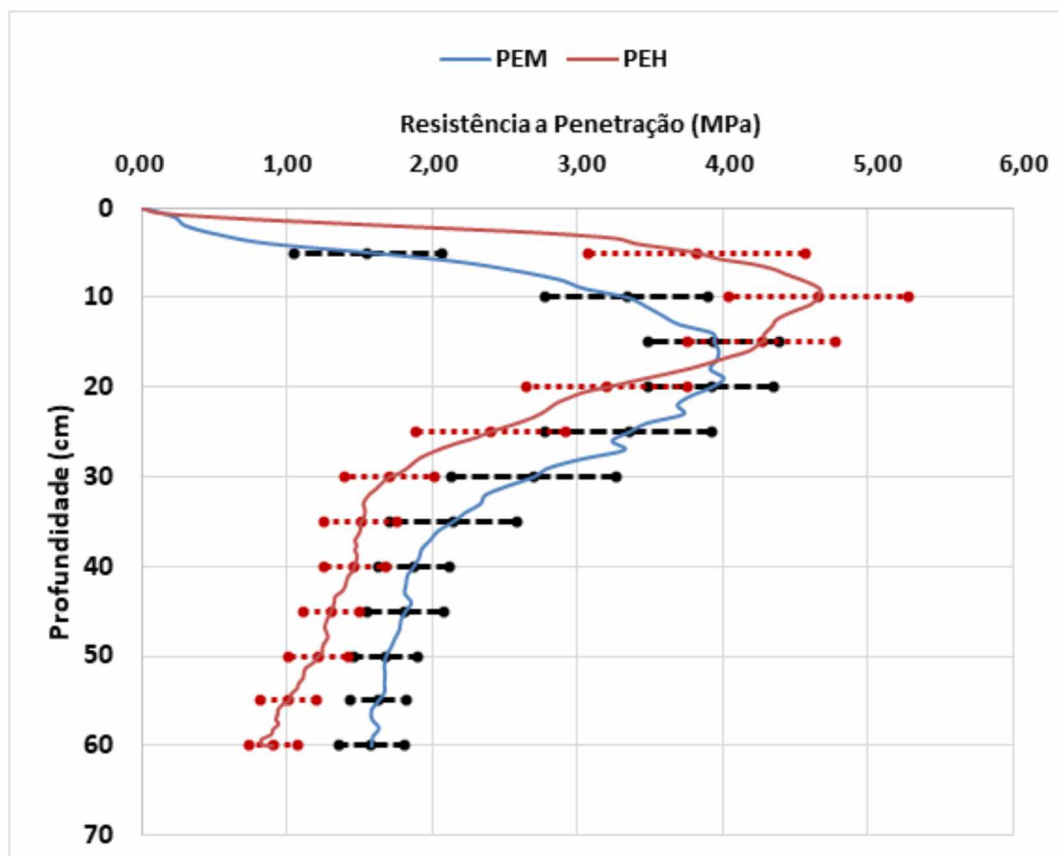
Nos Gráficos 3 e 4 são apresentados os valores de RSP obtidos com o PEH e o PEM nas áreas 1 e 2 respectivamente. Ambos os penetrômetros foram eficientes na diferenciação dos níveis de RSP do solo das duas áreas.

GRÁFICO 3 - VALORES DE RSP DO PEM E DO PEH NA ÁREA 1



FONTE: O autor (2018)

GRÁFICO 4 - VALORES DE RSP DO PEM E DO PEH NA ÁREA 2



FONTE: O autor (2018)

As curvas de RSP geradas por cada penetrômetro, dentro de uma mesma área e entre ambas as áreas seguem a mesma tendência, ao longo do perfil. Nas quais os dois equipamentos foram capazes de identificar as camadas de maiores valores de RSP diagnosticando a camada compactada.

Entretanto, os valores obtidos na área 1 e 2 com os dois aparelhos divergiram nos maiores e nos menores níveis de RSP. Demonstrando que o PEH obteve maior sensibilidade para detectar a resistência oferecida a haste ao penetrar o solo do que o PEM.

Na área 1 o PEH apresentou maiores valores de RSP de aproximadamente 2,5 MPa nas primeiras camadas (0-20cm) e menor valor de RSP 1,0 MPa nas últimas camadas (50-60cm), já o PEM apresentou os maiores valores de aproximadamente 2,0 MPa nas primeiras profundidades (0-30cm) e o menor valor de 1,5 MPa na última camada (50-60cm).

Na área 2 o PEH apresentou maiores valores de RSP de aproximadamente 4,5 MPa, na primeira camada de profundidade (0-10cm) e o



menor valor de 1,0 MPa na última camada, o PME apresentou maiores valores de RSP de aproximadamente 4,0 MPa nas primeiras camadas de profundidade (10-20cm) e menor valor de 2,0 MPa na última camada de profundidade (50-60cm).

Resultados similares a este trabalho foram encontrados por Leite, Santos e Lanças (2010), quando comparou valores de RSP entre penetrógrafo manual e penetrômetro elétrico-eletrônico, sendo que este apresentou maior sensibilidade ao detectar a resistência da haste ao penetrar no solo.

As divergências nos valores de RSP entre os penetrômetros estão associadas ao princípio de funcionamento dos aparelhos, onde o PEH possui uma velocidade de inserção da haste no solo constante em  $0,03 \text{ ms}^{-1}$  conforme estabelecido pela norma S313.3 (ASABE, 2012). Já PEM apesar de ter uma velocidade de inserção também aferida para aproximadamente  $0,03 \text{ ms}^{-1}$  apresenta dificuldades em manter a regularidade na velocidade de inserção da haste, mudando conforme a experiência, força e o desgaste físico do operador deste aparelho (TIEPPO et al., 2011 e MOLIN, DIAS; CARBONERA, 2012)

A confiabilidade dos dados gerados pelo PEH está diretamente relacionada ao fato da velocidade ser constante durante a penetração da haste no solo (MOME FILHO, 2012 e MASIERO, 2013)

Os maiores valores de RSP obtidos pelos penetrômetros nas primeiras camadas de profundidade está relacionado a presença de uma estrutura mais adensada nas camadas superficiais e subsuperficiais, comuns na maioria dos solos cultivados intensivamente, devido ao tráfego intenso de máquinas agrícolas que acaba compactando estas camadas de solo (LIMA, LEÓN E SILVA 2013b; ROBOREDO et al., 2010; REICHERT et al., 2009 )

Os menores valores de RSP na última camada se deve ao fato de ter uma tendência natural na redução dos valores de RSP em profundidade devido ao efeito do aumento da umidade do solo.

Essa redução de RSP em profundidade foi constatado em trabalho realizado por Lima, León e Silva (2013c), onde encontrou os maiores valores de RSP em profundidades de até a de 25cm após essa profundidade houve redução nos valores.

### 3.2 DENSIDADE E UMIDADE VOLUMÉTRICA DO SOLO

Na tabela 02 são apresentados dos valores de densidade ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) e umidade  $\text{cm}^3. \text{cm}^{-3}$  do solo nas áreas 1 e 2.

TABELA 2 - VALORES DE DENSIDADE E UMIDADE DO SOLO DAS ÁREAS 1 E 2

	Prof. (cm)	Densidade do solo ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	Umidade do solo ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ )
Área 1	0-10	1,28	0,34
	10-20	1,16	0,35
	20-30	1,13	0,39
	30-40	1,13	0,40
	40-50	1,13	0,40
	50-60	0,98	0,44
Área 2	0-10	1,24	0,30
	10-20	1,29	0,34
	20-30	1,09	0,37
	30-40	1,05	0,37
	40-50	1,03	0,39
	50-60	1,02	0,40

FONTE: O autor (2018)

Com os resultados obtidos na área 1 e 2 foi possível verificar que os valores de densidade do solo estão dentro os valores determinados para solos agrícolas que variam de  $0,9 \text{ g.cm}^{-3}$  a  $1,8 \text{ g.cm}^{-3}$  (PEREIRA, LOCATELLI E SOUZA, 2016).

Na área 1 os valores de densidade do solo na primeira camada (0-10cm) foi de  $1,28 \text{ g.cm}^{-3}$  e na camada mais profunda (50-60cm) de  $0,90 \text{ g.cm}^{-3}$ . No entanto na área 2 o valor de densidade foi de  $1,29 \text{ g.cm}^{-3}$  na camada de 10-20cm e na última camada de 50-60cm foi de  $1,02 \text{ g.cm}^{-3}$ .

Ambas as áreas utilizadas no estudo apresentaram uma ligação com os valores de RSP dos dois aparelhos, pois quanto maiores os valores de densidade do solo maiores serão os valores de RSP devido ao arrançamento e adensamento das partículas do solo (MONTANARI et al., 2012; PEREIRA, LOCATELLI E SOUZA, 2016).

Relações entre a densidade do solo e os valores de RSP também foram encontradas em estudos realizados Sousa et al. (2015) e Vogel et al. (2017).

Analisando a umidade no solo das áreas de trabalho 1 e 2 (TABELA 02) podemos notar que os valores de umidade no solo encontram-se dentro do intervalo considerado normal para a mensuração da RSP, entre  $0,25 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  a  $0,45 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  para solos muito argilosos e entre  $0,20 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  a  $0,40 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  para solos argilosos (MOLIN, DIAS e CARBONERA, 2012).

Na área 1 e 2 a maior RSP eram nas primeiras camadas onde a umidade do solo foi de  $0,34 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  e  $0,34 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  e os menores valores de RSP na última camada onde a umidade foi de  $0,44 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  e  $0,40 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ , respectivamente.

Este fato também foi encontrado por Gubiani, Reichert e Reinert (2014); Ortigara et al. (2014), constatando que os maiores os valores de umidade no solo coincidem com os menores valores de RSP.

A umidade do solo apresenta relação inversa com a RSP, os maiores valores de RSP ocorreram em função dos menores teores de água no solo, em razão do aumento das forças de coesão entre as partículas do solo, resultante da concentração dos agentes cimentantes (sesquióxidos de ferro e alumínio associados a materiais húmicos degradados, exsudação dos microrganismos do solo, etc.) e da redução do efeito lubrificante da água (CUNHA et al., 2002; BOTTEGA et al., 2011; CAMPOS et al., 2013)

### 3.3 TEOR DE ARGILA

Nas áreas 1 e 2 os teores de argila foram altos caracterizando a área 1 como de textura muito argilosa e a área 2 como de textura argilosa. No entanto não houve grande variação nos valores de argila entre as diferentes camadas nessas duas áreas (TABELA 1).

Solos com maiores teores de argila tendem a apresentar maior resistência à penetração do que arenosos, devido às forças de coesão das partículas e dos agentes cimentantes. O teor de água no solo está diretamente ligado ao teor de argila no solo que influencia nos valores de RSP.

Molin, Magalhães e Faulin (2006), Mioto et al. (2016), afirmam que quanto maior o teor de argila no solo, maiores serão os valores de umidade no solo e matéria orgânica fatores que tendem a diminuir a RSP. Fato observado

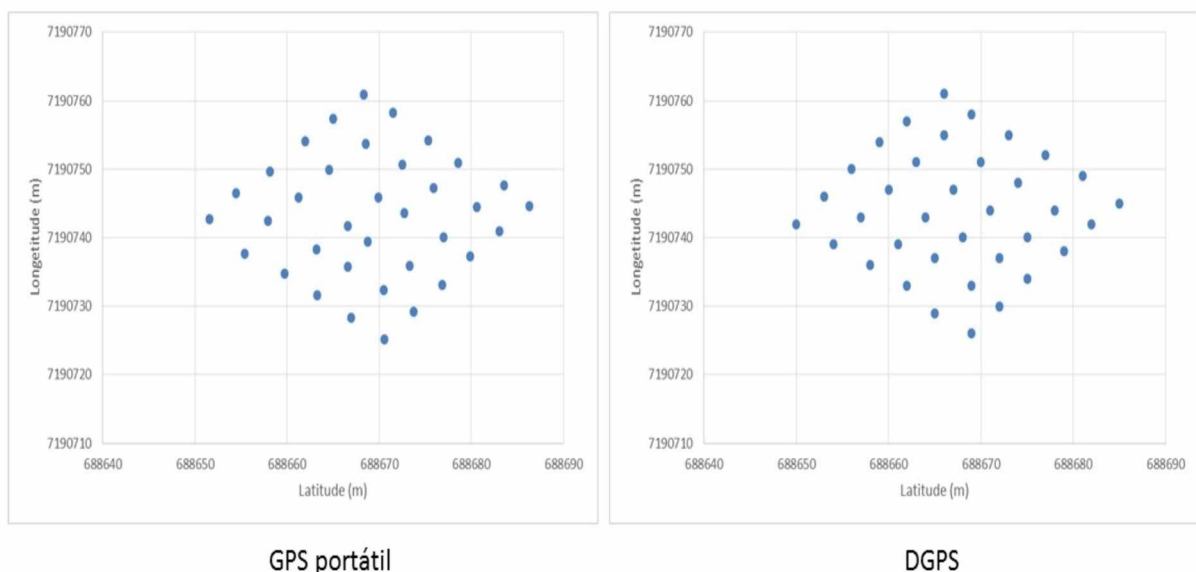
na área 1 nas camadas 20-30cm e 50-60cm onde houve menor RSP e a umidade foi de  $0,44 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ .

O teor e o tipo de argila afetam o funcionamento compressivo do solo, determinando, portanto, a profundidade de transmissão e a persistência da compactação assim, quanto maior o teor de argila, maior a profundidade a qual a pressão é transmitida e maior a espessura da camada compactada (RICHART et al., 2005).

### 3.4 GEORREFERENCIAMENTO DAS ÁREAS

Nas Figuras 13 e 14 são apresentados os mapas com os pontos de leituras de RSP georreferenciadas das áreas 1 e 2 respectivamente.

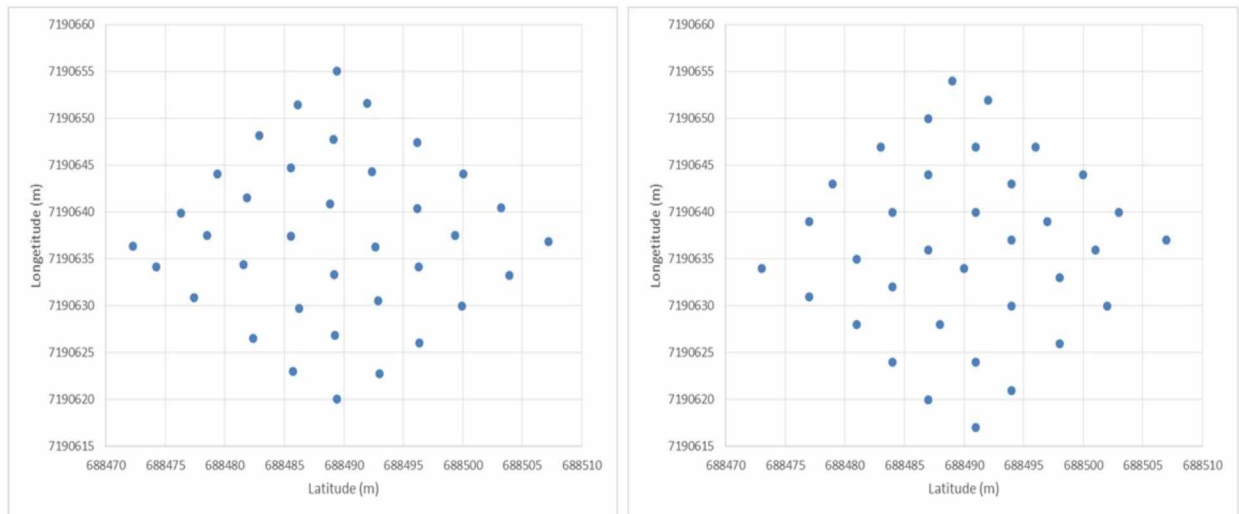
FIGURA 13 - MAPA ÁREA 1  
Área 1



FONTE: O autor (2018)

FIGURA 14 - MAPA ÁREA 2

Área 2



GPS portátil

DGPS

FONTE: O autor (2018)

Nos mapas da área 1 observar-se que o GPS portátil apresentou a precisão de 71% e o DGPS apresentou 70% de precisão. Enquanto na área 2 o GPS portátil apresentou precisão de 71% e o DGPS 72% de precisão.

Quanto aos sistemas de aquisição de coordenadas geográficas o GPS portátil é um aparelho com sistema de aquisição de dados sem correção diferencial de sinal, por não ter correção, o sistema portátil pode apresentar coleta de dados com erro de 2 a 5m em cada ponto. Já o DGPS, que possui sistema de correção diferencial na aquisição de dados tem um range de erro na coleta de dados de 0,01 a 0,02m em cada ponto (MOLIN, 2015).

No trabalho em questão, em ambos os aparelhos a coleta dos dados apresentou erro 3,50 m, esse erro encontra-se dentro da margem de erro para o GPS portátil, porém não estando de acordo para o equipamento DGPS, isso aconteceu porque o sistema de correção diferencial estava desabilitado no momento da coleta, portanto não apresentando diferença entre as tecnologias utilizadas.

## **4 CONCLUSÕES**

Os dois penetrômetros foram eficientes na diferenciação dos níveis de compactação do solo das duas áreas, mesmo apresentando diferenças nos valores de RSP nas primeiras camadas de solo e na última camada de solo.

O PEH operou de maneira satisfatória, apresentando maior sensibilidade ao detectar a resistência oferecida pela haste cônica ao penetrar o solo do que PEM, assim validando este equipamento que foi construído e desenvolvido.

O GPS portátil mais eficiente que o DGPS, devido seu sistema de correção estar desabilitado no momento da coleta dos dados.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O PEH apresentou praticidade no momento da sua utilização proporcionando economia de tempo na obtenção das leituras de RSP e evitando erros, devido ter uma velocidade de deslocamento da haste constante.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Soil cone penetrometer**. St. Joseph, 2012. (ASABE standard: S313.3)

BOTTEGA, E.L.; BOTTEGA, S.P.; SILVA, S.A.; QUEIROZ, D.M.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife v.6, n.2, p.331-336, 2011.

CAMPOS, M.C.C.; AQUINO, R.E.; OLIVEIRA, I.A.; BERGAMIM, A.C. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na região de humaitá, amazonas, brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 2, p. 305-310, 2013.

CUNHA, J.P.A.R.; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.10, n.1, p.1- 7, 2002.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 2013.

GARMIN. 2018. Disponível em: < <https://www.garmin.com/pt-BR>. > acesso em: 12/julho/2018.

GEE G.W, BAUDER J.W. **Particle-size Analysis**. In: Klute A, editor. Methods of soil analysis: I. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, Science Society of America, p.383-409, 1986.

GUBIANIA, P.I.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Interação entre disponibilidade de água e compactação do solo no crescimento e na produção de feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Santa Maria, v. 38, p. 765-773, 2014.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina, 2018. Disponível em: <<http://www.iapar.br/pagina-863.html>>. Acesso em: 09/julho/2018.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Gráficos de histórico climático para o estado do Paraná**. Brasília, 2018. Disponível em:< [http://www.inmet.gov.br/sim/abre\\_graficos.php](http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php)>. Acesso em: 09/julho/2018.



LEITE, F.; SANTOS, J.E.G.; LANÇAS. Comparação da resistência do solo à penetração entre penetrômetro elétrico-eletrônico e penetrógrafo manual. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 3, n. 1, p. 32-39, 2010.

LIMA, R.P.; LEÓN, M.J.; SILVA, A.R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosas, v. 60, n. 1, p. 016-020, jan./fev. 2013a.

LIMA, R.P.; LEÓN, M.J.; SILVA, A.R. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 4, p. 577-581, jul./ago. 2013b.

LIMA, R.P.; LEÓN, M.J.; SILVA, A.R. Resistência mecânica à penetração sob diferentes sistemas de uso. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 9, n. 6. 2013c.

MASIERO, F.C. **Produtividade e compactação do solo em diferentes ciclos anuais da cultura de cana-de-açúcar**. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2013.

MAZURANA, M. FINK, J.R.; SILVEIRA, V.H.; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; BREZOLIN, D. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolo Vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n. 5, p. 1185- 1195, 2013.

MIOTO, L.S.; ARAUJO, M.A.; SERON, C.C.; LAVANHOLI, R.; BATISTA, M.A.; LOZANO, C.S. Resistência do solo à penetração das raízes avaliada por dois penetrômetros em uma área cultivada com mandioca. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.5, n.1, p. 65-79, 2016.

MOLIN, J.P.; MAGALHAES, R.P.; FAULIN. Análise espacial da ocorrência do índice de cone em área sob semeadura direta e sua relação com fatores do solo. **Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 26, n. 2, p. 442-452, maio/ago. 2006.

MOLIN, J.P.; DIAS, C.T.S.; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.16, n.5, p. 584–590, 2012.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MOME FILHO, E.A. **Aplicação da penetrometria na quantificação da compactação do solo**. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

MONTANARI, R.; ZAMBIANCO, E.C.; CORRÊA, A.R.; PELLIN, D.M.P.; CARVALHO, M.P.; DALCHIAVON, F.C. Atributos físicos de um Latossolo

Vermelho correlacionados linear e espacialmente com a consorciação de guandu com milheto. **Revista Ceres**, v.59, n.1, p.125-135, 2012.

OLIVEIRA FILHO, F.X.; MIRANDA, N.O.; MEDEIROS, J.F.; SILVA, P.C.M.; MESQUITA, F.O.; COSTA, T.K.G. Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 186-193, 2015.

ORTIGARA, C.; KOPPE, E.; LUZ, F.B.; BERTOLLO, A.M.; KAISER, D.R.; SILVA, W.R. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 619-626, Mar./Apr., 2014.

PEREIRA, G.E.S.; LOCATELLI, M.; SOUZA, R.C. Compactação, densidade e fertilidade do solo na área de preservação permanente do Igarapé dos Tanques – Porto Velho/RO. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 23, p. 1569, 2016.

REICHERT, J.M.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; RIQUELME. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 310-319, 2009.

RICHART, A.; FILHO, T.J.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul./set. 2005.

ROBOREDO, D.; MAIA, J.C.S.; OLIVEIRA, O.J.; ROQUE, C.G. Uso de dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica de um latossolo vermelho distrófico. **Revista de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 30, n.2 p. 308-314, mar./abr. 2010.

SOUSA, L.F.R.A.; MENEZES, A.S.; JÚNIOR, J.C.L.; LOBATO, M.G.R.; CHAVES, A.F.; ALENCAR, T.L. **Avaliação de penetrômetros na medição da resistência do solo à penetração**. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal, 2015.

STABILE, M. C. C.; BALASTREIRE, L. A. Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.215-223, 2006.

TIEPPO, R.C.; FILHO, A.G.; SILVA, S.L.; GNOATTO, E. Desenvolvimento de um penetrômetro manual eletrônico. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, vol. 33, n. 1, p.9-15, 2011.

VOGEL, G.F.; MARTINKOSKI, L.; GRILLO, J.F.; MICHALOVICZ, L.; FEY, R. Avaliação dos penetrômetros de impacto e eletrônico na determinação da resistência mecânica a penetração do solo. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 3, p. 30-36, jul./set. 2017.

